УДК 556.42:57.4(556.66)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ ТОМИ

О.Г. Савичев

Томский политехнический университет
E-mail: OSavichev@mail.ru

Приведены обобщенные данные о суммарном содержании главных ионов ($C_и$) и органических веществ (по углероду $C_{орг}$) в водах р. Томи в зимнюю межень и в сточных водах, поступающих в реку. Впервые выполнен бассейновый расчет изменения величин $C_и$ и $C_{орг}$ в водах р. Томи под влиянием ее притоков и наиболее крупных выпусков сточных вод на участке от г. Междуреченска до устья. Показано, что заметное влияние сбросов сточных вод по наиболее крупным сосредоточенным выпускам на минерализацию и общее содержание органических веществ в р. Томи прослеживается на участках протяженностью до 8...10 км. В то же время выявлено несоответствие расчетных и измеренных значений $C_и$ и $C_{орг}$, свидетельствующее о наличии эффективных механизмов самоочищения речных вод.

Введение

Томь – один из крупнейших притоков Оби. Ее сток формируется на территории республик Хакасия и Алтай, Кемеровской, Томской и Новосибирской областей. Данная река служит важным источником водоснабжения целого ряда населенных пунктов, включая гг. Междуреченск, Новокузнецк, Кемерово, Томск, Северск. Одновременно она является приемником значительного объема сточных вод многочисленных промышленных, сельскохозяйственных и жилищно-коммунальных предприятий, расположенных в пределах водосборного бассейна преимущественно в Кемеровской и Томской областях, что обусловливает актуальность оценки суммарного влияния сбросов сточных вод на химический состав вод р. Томи.

Необходимость такой оценки назрела достаточно давно, но до сих пор по ряду причин соответствующие работы выполнялись только в процессе моделирования распространения загрязняющих веществ в проектируемом Крапивинском водохранилище в среднем течении р. Томи и для одиночных источников при разработке нормативов предельно допустимых сбросов. Учитывая требуемое для расчетов огромное количество водохозяйственной и гидрологической информации, ниже рассмотрено влияние лишь наиболее крупных восемьнадцати выпусков с расходами сточных вод более 5000 м^3/сут. Кроме того, учитывалось поступление вод шести наиболее крупных (рр. Уса, Мрас-Су, Кондома, Верхняя, Средняя и Нижняя Терси, Тайдон) и пяти самых загрязненных притоков р. Томи (рр. Аба, Ускат, Искитимка, Ушайка, Киргизка). В качестве исходных данных по составу и объемам сточных вод использованы обобщенные сведения статистической отчетности 2-тп(водхоз), приведенные в работах [1–6], а по составу и расходам речных вод – сведения из работы [7].

Методика исследований

Оценка антропогенного влияния проводилась по двум показателям, позволяющим получить общее представление о химическом составе речных вод и условиях его формирования, – сумме главных ионов ($C_и$), почти полностью определяющих минерализацию воды, и содержанию углерода органических соединений ($C_{орг}$). Поскольку в сточных водах концентрации ионов кальция, магния, натрия, калия, гидрокарбонат-иона и величина $C_{орг}$ во многих случаях не измеряются, но почти всегда определяются сухой остаток (S) и биохимическое потребление кислорода (БПК$_п$), сумма главных ионов в сточных водах определялась расчетным путем по полученной автором эмпирической зависимости от величины S, а содержание $C_{орг}$ – по зависимости от БПК$_п$:

$$C_и=1{,}456\cdot S–7{,}573,$$
$$C_{орг}=0{,}613\cdot БПК_п+4{,}376.$$

В обоих случаях, принятый в гидрологии критерий качества аппроксимации $K_а$ [8], определяемый по формуле (1), не превышает критического значения 0,8: для $C_и$ $K_а$=0,42; для $C_{орг}$ $K_а$=0,71.

$$K_а = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_1^N (C_ф - C_в)^2}{N-1}}}{\sigma}, \qquad (1)$$

где $C_ф$ и $C_в$ – фактические и вычисленные значения показателя; N – длина ряда; σ – среднее квадратичное отклонение $C_ф$.

В случае речных вод величина $C_и$ рассчитывалась как сумма концентраций ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-, а содержание углерода органических веществ в речных водах определялось из соотношения:

$$C_{орг}=0{,}375\ ХПК,$$

где ХПК – химическое потребление кислорода [9].

Использованная в данной работе математическая модель самоочищения речных вод принята согласно [10] и имеет вид

$$C_р = C_1 \exp(-k_1 t_1) + \sum_{i=1}^{M} \frac{(C_{c,i} \exp(-k_2 t_{1,i}) - C_1 \exp(-k_1 t_1))}{n_i}, \qquad (2)$$

где $C_р$ и C_1 – концентрация вещества в расчетном створе р. Томи и выше по течению от источников загрязнения; C_c – концентрация вещества в сточных водах; M – количество источников загрязнения; k_1 и k_2 – коэффициенты самоочищения речных вод в естественных условиях и под влиянием i-ого выпуска или притока, в данной работе принято для содержаний органического углерода $C_{орг}$: $k_1=k_2=0{,}3$, а для суммы главных ионов $C_и$ $k_1=k_2=0$; t_1 и $t_{1,i}$ – время добегания водных масс от первого створа, расположенного выше по течению от источников загрязнения, и от i-ого выпуска до расчетного створа; n_i – кратность разбавления сточных вод i-ого выпуска или притока, определяемая по методу Фролова-Родзиллера [10, 11]. Решение ур. (2) выполнено автором в среде MS Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные расчеты самоочищения речных вод позволили получить общую картину изменения суммы главных ионов и содержаний $C_{орг}$ в максимально загрязненной струе потока по длине р. Томи в зимнюю межень (рис. 1, 2). Анализ результатов вычислений и их сопоставление со среднемноголетними показателями для этого времени года (табл. 1) выявили заметные отличия между измеренными и расчетными величинами, особенно в распределении суммы главных ионов в р. Томи в районе г. Томска и $C_{орг}$ в среднем течении реки.

В случае с величиной $C_и$ это расхождение можно интерпретировать как подтверждение сделанного в работах [7, 12] вывода о наличии достаточно эффективного механизма регулирования минерализации речных вод, определяемого характером и интенсивностью взаимодействий в системе "вода – порода – органическое вещество". Не затрагивая подробно этот вопрос, отметим, что если бы минерализация вод р. Томи формировалась только в результате процессов смешения сточных и речных вод, то значения $C_и$ в водах этой реки на участке от г. Новокузнецка до с. Салтымаково были бы примерно в полтора раза выше по сравнению с наблюдаемыми величинами, а ниже по течению от г. Кемерово, где отсутствуют значительные притоки, не наблюдалось бы уменьшение минерализации (рис. 1). Кроме того, сравнение гидрохимических показателей речных и грунтовых вод (табл. 1) свидетельствует о сопоставимости величин $C_и$ и $C_{орг}$ в водах р. Томи в зимний период и подземных водах четвертичных отложений на территории ее водосбора. Это позволяет сделать вывод о том, что именно грунтовый приток и внутриводные процессы и определяют основные черты химического состава речных вод на большем протяжении Томи в зимнюю межень.

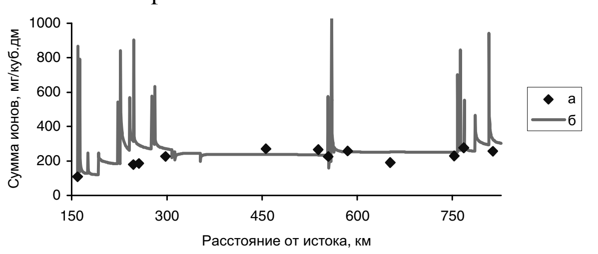


Рис. 1. *Изменение измеренных (а) и расчетных (б) значений $C_и$ в водах р. Томи в максимально загрязненной струе в зимнюю межень*

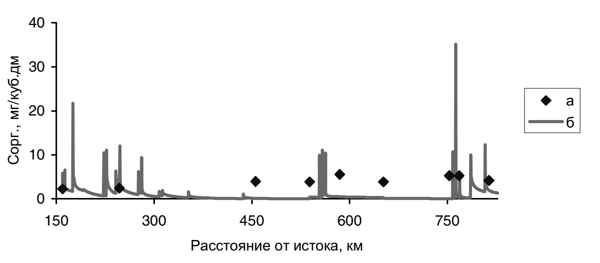


Рис. 2. *Изменение измеренных (а) и расчетных (б) значений $C_{орг}$ в водах р. Томи в максимально загрязненной струе в зимнюю межень*

Вычисленные концентрации $C_{орг}$ в речных водах на участке среднего течения р. Томи в зимний период маловодного года, в отличие от вычисленных значений $C_и$, оказались меньше, чем измеренные (рис. 2). С учетом данных о средних содержаниях органического углерода в грунтовых водах в размере 4,0...4,3 мгС/дм^3 [13, 14], это также указывает на значительную роль подземного водопритока и внутриводных процессов в формировании наблюдаемого уровня содержания $C_{орг}$ зимой в водах р. Томи на участках ее среднего и нижнего течения.

Таблица 1. *Среднемноголетние значения расходов речных и сточных вод (Q), суммы главных ионов ($C_и$) и содержаний органического углерода ($C_{орг}$) в сточных, речных (в зимний период) и подземных (без признаков явного загрязнения) водах в бассейне р. Томи (обобщение работ [1–7, 13, 14])*

Объект	Створ, отложения	Q, м³/с		$C_и$, мг/дм³		$C_{орг}$, мг/дм³	
		А	δ	А	δ	А	δ
р. Томь	выше г. Междуреченска	18,8	2,1	108,2	6,1	2,3	0,2
	выше г. Новокузнецка	72,5	2,2	178,8	8,4	2,4	0,3
	выше г. Кемерово	–	–	265,4	44,9	3,9	0,3
	выше г. Томска	139,0	5,9	241,8	11,0	4,7	0,5
Подземные воды	аллювиальных отложений речных долин	–	–	139,3	38,0	4,0	1,0
	четвертичных отложений водораздельных пространств	–	–	262,9	34,1	4,1	1,2
	зоны трещиноватости	–	–	425,3	26,3	4,3	1,1
Сточные воды	г. Междуреченск	2,2	0,2	619,6	74,0	9,7	0,4
	г. Новокузнецк	9,4	0,5	420,8	112,3	17,3	7,2
	г. Кемерово	9,1	1,0	525,9	62,3	16,1	2,9
	гг. Томск и Северск	28,7	1,9	156,7	10,0	7,7	0,7

А – среднее арифметическое; $\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ – погрешность определения

Таким образом, роль сосредоточенных выпусков сточных вод в формировании минерализации и общего содержания органических веществ (по $C_{орг}$) в водах р. Томи даже в наиболее неблагоприятный зимний период расчетного маловодного года заметна обычно на участках до 8...10 км вниз по течению и не является определяющей на большем удалении от городов и отдельных крупных выпусков сточных вод, когда отклонение величин $C_и$ и $C_{орг}$ от соответствующих "фоновых" значений в 0,5 км выше выпуска сточных вод становится меньше или примерно равно погрешности определения рассматриваемых гидрохимических показателей (рис. 3; термин "фоновая" концентрация вещества используется в соответствие с указаниями [11]). В реальных же условиях, как показали мониторинговые наблюдения за источниками загрязнения [1–4] и комплексные эколого-геохимические исследования, выполненные в Институте водных и экологических проблем СО РАН, Томском политехническом университете, Томском филиале Института геологии нефти и газа СО РАН и ряде других организаций [15], влияние сбросов сточных вод еще менее выражено (табл. 2, рис. 4). При этом следует отметить, что, по полученным данным, в р. Томи наблюдается заметное "сглаживание" не только повышенных, но и пониженных (относительно р. Томи) содержаний неорганических солей и $C_{орг}$, обусловленных поступлением вод рр. Верхней, Средней, Нижней Терсей и Тайдона. Так, уже на расстоянии 4...8 км от места впадения перечисленных рек изменение расчетной суммы главных ионов в водах р. Томи практически не заметно (рис. 5).

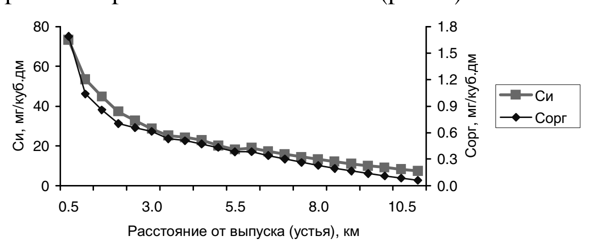


Рис. 3. *Отклонение расчетной величин $C_и$ и $C_{орг}$ вод р. Томи от "фоновых" значений в створах, расположенных в 0,5 км выше по течению от выпусков стоков (устья сильно загрязненных малых рек)*

Таблица 2. *Средний химический состав сточных (II) и речных вод в 0,5 км выше (I) и ниже (III) по течению от выпусков стоков ЖКХ п. Тимирязевского и ЗАО "НОПСВ" в р. Томь за период 1998–2002 гг. (обобщение данных [1–4]), мг/дм³*

Показатель	Выпуск сточных вод предприятия					
	ЖКХ п. Тимирязевский			ЗАО «НОПСВ»		
	I	II	III	I	II	III
Ca^{2+}	25,0	*	23,5	28,5	77,2	27,8
Mg^{2+}	8,1	*	9,3	8,3	16,8	9,4
$Na^{+}+K^{+}$	5,2	*	6,0	8,7	*	10,2
HCO_3^-	129,2	491,7	129,0	132,7	295,1	141,9
Cl^-	2,5	42,0	2,9	5,2	45,5	5,0
SO_4^{2-}	9,5	13,2	10,1	10,5	39,0	10,3
$C_и$	182,8	656,4	181,4	194,7	603,2	204,5
$C_{орг}$	2,51	30,87	2,00	5,93	23,66	6,89

** нет данных*

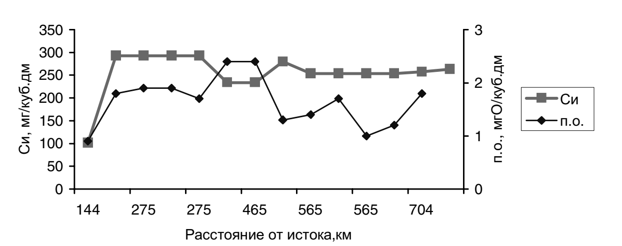


Рис. 4. *Изменение измеренных значений суммы главных ионов и перманганатной окисляемости (п.о.) в водах р. Томи в марте 2001 г. [15]*

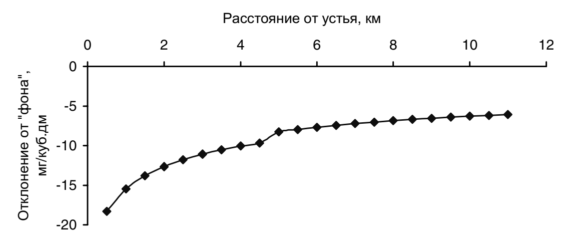


Рис. 5. *Отклонение расчетной величины $C_и$ вод р. Томи от "фоновых" значений в створах, расположенных в 0,5 км выше по течению от рр. Верхней, Средней, Нижней Терсей и Тайдона*

Заключение

В целом, судя по данным гидрогеохимических наблюдений и результатам выполненных расчетов, химический состав вод р. Томи в зимний период формируется, прежде всего, за счет притока подземных вод, а также геохимических, биогеохимических и гидрологических процессов, протекающих непосредственно в реке. Сбросы сточных вод по сосредоточенным выпускам непосредственно в р. Томь оказывают заметное воздействие на минерализацию и общее содержание органических веществ в створах Новокузнецкого, Кемеровского и Томского промышленных узлов на протяжении до 8...10 км вниз по течению от наиболее крупных водовыпусков. На большем удалении от последних отклонение величин $C_и$ и $C_{орг}$ от соответствующих значений, характерных для створов, расположенных выше по течению от сброса стоков, обычно не превышает погрешности определения. Учитывая этот факт, а также несоответствие расчетных и наблюдаемых (средних) значений величин $C_и$ и $C_{орг}$, можно предположить, что минерализация речных вод даже на участках сброса большого количества стоков зависит не только от сбросов стоков и условий их смешения с речными водами, но и от характера взаимодействий в системе "вода – порода – органическое вещество". Данный вывод не учитывается в существующей практике оценки и прогноза допустимых воздействий на водные объекты, что в ряде случаев приводит к неоправданному ужесточению режима водопользования.

Работа выполнена при поддержке гранта Минпромнауки РФ № НШ-1566.2003.05 и интеграционного проекта СО РАН № 167.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 1999 г. / Под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2000. – Вып. 2. – 39 с.
2. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000 г. / Под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2001. – Вып. 3. – 86 с.
3. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2001 г. / Под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2002. – Вып. 4. – 82 с.
4. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г. / Под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2003. – Вып. 5. – 84 с.
5. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохранных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского УГМС за 1996 год. Ч. II. – Новосибирск: Западно-Сибирский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды, 1997. – 32 с.
6. Проект ФЦП "Коренное улучшение водохозяйственной и экологической обстановки в бассейне реки Томи". Т. 1. Кемерово: Исполн. дирекция водохоз. программ бассейна Томи, Кемеровский научный центр СО РАН, ИВЭП СО РАН, 1998. – 220 с.
7. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
8. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
9. Гидрохимические показатели окружающей среды. – М.: Эколайн, 2000. – 148 с.
10. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
11. Методика расчета предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами. – Харьков: ВНИИВО, 1990. – 109 с.
12. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томи с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
13. Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Гидрогеохимические условия юго-востока Западной Сибири (на примере бассейна р. Томь) // Геоэкология. – 1999. – № 4. – С. 314–320.
14. Shvartsev S.L., Rasskazov N.M., Savichev O.G. Geochemistry and pollution of ground waters of Tom river basin // Hydrogeology and land use management. Proc. XXIX Congr. of international association of hydrogeologist. – Bratislava, 1999. – P. 503–508.
15. Савичев О.Г., Шварцев С.Л., Двуреченская С.Я. и др. Результаты геоэкологических исследований р. Томи в зимнюю межень // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / Под ред. В.В. Зуева, А.В. Куровского, С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во "РАСКО", 2002. – С. 99–116.